

VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zařízení na vrhání aportů
Ball throwing device

Student:

David Mejta

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kubín, Ph. D.

Ostrava 2019

Zadání bakalářské práce

Student: **David Mejta**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: **Zařízení na vrhání aportů**
Ball Throwing Device
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete konstrukční řešení mechanické části zařízení, které slouží k opakovanému vrhání aportů ve formě míčků (maximální průměr 100 mm a do hmotnosti 500 g). Vrhána vzdálenost je v rozmezí 10 až 15 metrů. Součástí konstrukce je i mechanismus k odměňování psa po navrácení míčku. Zpracujte průzkum obdobných zařízení pro zábavu a výcvik psů. Vytvořte koncepční návrhy možných řešení. Vyberte nejlepší variantu a proveďte kompletní návrh v 3D modeláři. Navrženou konstrukci doplňte návrhovými a kontrolními výpočty. Zpracujte výkresovou dokumentaci v rozsahu dle dohody s vedoucím práce.


Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018
Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

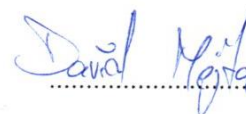



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 20. 5. 2019

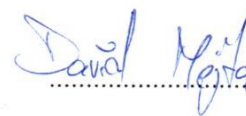


podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20. 5. 2019



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

David Mejta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Volgogradská 73, Ostrava-Jih

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MEJTA, D. *Zařízení na vrhání aportů: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2019, 48s. Vedoucí práce: Kubín T.,

Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení pro automatický vrh aportů. Úvod této bakalářské práce obsahuje průzkum trhu a návrh několika variant. V hlavní části této bakalářské práce je vytvořen konstrukční návrh zařízení. K vytvořené konstrukci je vypracován 3D model a výkresová dokumentace. Další součástí bakalářské práce jsou návrhové a kontrolní výpočty. Dosažené výsledky jsou zhodnoceny v závěru.

MEJTA, D. *Ball throwing device: bachelor thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2019, 48 s. Thesis head: Kubín T.,

The bachelor thesis deals with design of device for automatic throwing of a ball. Opening of this bachelor thesis contains market survey and proposition of some different variations for design. In the main part of this bachelor thesis is made construction design of the device. In addition to the made construction is made 3D model and drawing documentation. Other parts of bachelor thesis are design and control calculations. Achieved results are evaluated in the conclusion.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	7
Úvod	9
1 Kynologie.....	10
2 Průzkum trhu.....	11
2.1 iFetch Frenzy.....	11
2.2 iFetch Original.....	12
2.3 PetSafe.....	13
3 Jednotlivá konstrukční řešení	14
3.1 Okrajové podmínky.....	14
3.2 Varianta A	15
3.3 Varianta B	15
3.4 Varianta C	16
4 Konstrukční návrh.....	17
4.1 Rám a krytí.....	19
4.2 Odpalovací sekce.....	20
4.3 Dopravní sekce	23
4.4 Pojistná sekce	27
4.5 Ovládací síť	28
4.6 Seznam operací	31
5 Návrhové a kontrolní výpočty.....	32
5.1 Výpočet tuhosti pružiny	32
5.2 Návrhový výpočet lineárního aktuátoru	35
5.3 Návrhový výpočet elektromotoru.....	36
5.4 Návrhové a kontrolní výpočty čepu	37
5.5 Nalisování pojistky na čep	39
5.6 Kontrola pojistky v MKP	42
6 Závěr	44
7 Seznam použité literatury.....	45
8 Seznam příloh	47

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
C_n	Rozměrová konstanta náboje	[-]
d_1	Reálný průměr čepu	[mm]
d_2	Vnější průměr náboje	[mm]
$d_{\check{c}}$	Navržený průměr čepu	[mm]
DMR	Dolní mezní rozměr díry	[mm]
$d_{mr_{MIN}}$	Minimální dolní mezní rozměr čepu	[mm]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
f	součinitel smykového tření ocel x ocel	[-]
F_A	Minimální potřebná síla aktuátoru	[N]
F_N	Normálová síla v pojistce	[N]
F_O	Předpětí pružiny	[N]
F_P	Síla pružin	[N]
F_T	Třecí síla v pojistce	[N]
F_x	Potřebná síla na rameni pojistky	[N]
g	Tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
hmr	Horní mezní rozměr čepu	[mm]
HMR	Horní mezní rozměr díry	[mm]
i	Počet pružin	[-]
k	Skutečná tuhost pružin	[N·mm ⁻¹]
k_p	Požadovaná tuhost pružiny	[N·m ⁻¹]
k_s	Součinitel bezpečnosti	[-]
k_t	Bezpečnost spoje třením	[-]
l_1	Délka vidlice	[mm]
l_2	Délka náboje	[mm]
$l_{\check{c}}$	Délka čepu	[mm]
L_{MIN}	Základní délka pružiny	[mm]
L_N	Délka pružiny při plném nátahu	[mm]
m	Hmotnost soustavy	[kg]
M_E	Potřebný krouticí moment elektromotoru	[N·m]
M_K	Přenášený krouticí moment	[N·mm]
m_t	Hmotnost soustavy s tenisovým míčkem	[kg]

p_1	Tlak na stykové ploše čepu a vidlice	[MPa]
p_2	Tlak na stykové ploše čepu a vidlice	[MPa]
p_D	Dovolený tlak	[MPa]
p_{MAX}	Maximální tlak	[MPa]
p_{MIN}	Minimální potřebný tlak	[MPa]
r_1	Rameno třecí síly	[m]
r_2	Rameno páky	[m]
r_A	Rameno síly aktuátoru	[m]
$r_{\check{c}}$	Rameno čepu	[m]
Re	Mez kluzu	[MPa]
r_p	Rameno síly pružiny	[m]
s_{max}	Požadovaný dostřel	[m]
s_t	Dostřel tenisového míčku	[m]
u	Převodový poměr	[-]
v	Skutečná rychlost míčku	[m·s ⁻¹]
v_0	Potřebná rychlost míčku	[m·s ⁻¹]
v_t	Rychlost tenisového míčku	[m·s ⁻¹]
x	Výchylka pružiny	[m]
α	Úhel vrhu	[°]
Δd_{1MAX}	Maximální přesah	[mm]
Δd_{1MIN}	Minimální přesah	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_D	Dovolené napětí	[MPa]
σ_{Dov}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa]
τ_{dS}	Dovolené smykové napětí	[MPa]
τ_S	Smykové napětí	[MPa]

Úvod

V moderním světě se stále zvyšuje poptávka po zařízeních zlepšujících komfort a kvalitu života. To se však nevztahuje pouze na komfort lidí, ale i domácích mazlíčků. V tomto případě se zaměříme na psy. Kynologické potřeby se dávno nevztahují pouze na náhubky a vodítka, čím dál více se rozvíjejí nejrůznější edukativní hračky tak, aby se naplnily veškeré potřeby psů. Každý chovatel může potvrdit, že pes nejvíce strádá samotou, bez přítomnosti svého pána. S nástupem automatizace se začal postupně nahrazovat či suplovat lidský faktor v mnoha oblastech. Proto už i na našem trhu můžeme najít několik zařízení, která se dají souhrnně nazvat jako automatický vrhač míčků. Mezi těmito zařízeními ale není žádné, které by vyhovovalo i větším plemenům, všechna dostupná zařízení jsou dimenzována pro tenisové míčky a menší. To může pro mnoho větších plemen znamenat problém, tyto psi jsou schopni tenisový míček bez větší problémů rozkousat. Z toho důvodu jsem se rozhodl provést návrh zařízení, které bude schopné vrhu i větších a bytelnějších míčků a bude tak atraktivní i pro majitele těchto velkých plemen.

1 Kynologie

Aport je jednou ze základních dovedností psa, která je zakořeněna hluboko v jeho podvědomí, hlavně u loveckých psů, kteří měli za úkol donést ulovenou kořist. Aportování je pro psa prospěšné hned z několika důvodů. Pro většinu psů není aport povinností, ale hrou. V případě automatického vrhače se pes zabaví a udržuje se v dobré náladě i bez přítomnosti majitele. Aport zároveň stimuluje přirozené instinkty psa a udržuje ho v dobré kondici. Je však vhodné dbát na přiměřenost pohybu, pes totiž v mnoha případech nepozná svou hranici. V takových případech může dojít k přehřátí psa v teplých měsících nebo nadměrnému namáhání kloubů. Z toho důvodu je třeba omezit funkčnost zařízení např. kapacitou baterie, nebo časovým spínačem.



Obr. 1.1 Aportující pes [6]

Psa je nutné naučit umístit míček do příslušné nádoby tak, aby mohlo dojít k jeho následnému odpálení. Při tomto výcviku je důležité omezit se pouze na pozitivní přístup ve výchově. Pokud pes nebude pozitivně motivován, vrhač ho bez přítomnosti pána nebude zajímat. Jako motivační prostředky jsou mezi chovateli běžně používány pamlsky, proto je v zařízení umístěn i dávkovač pamlsků. Pro psa je tak hračka atraktivnější a zároveň usnadňuje výcvik psa. Je však nutné dbát na to, aby pes nepřekračoval svou denní dávku a aby měl pes dostatek času k polknutí pamlsku. V opačném případě by hrozilo zadušení, když pes rychle vyběhne za míčkem.

2 Průzkum trhu

Pro inspiraci k návrhu mého přístroje provedu průzkum trhu. Je nutno zmínit, že automatický vrhač míčků je novým druhem zařízení, které je určeno pouze pro komerční účely, proto na trhu není mnoho variant tohoto přístroje.

2.1 iFetch Frenzy

Firma iFetch se na automatické vrhače specializuje. Nabízí tři různé typy tohoto zařízení: iFetch Frenzy, iFetch Original a iFetch Too. iFetch Frenzy je vzhledem ke své jednoduché konstrukci z praktického hlediska nezajímavý, míček se z přístroje pouze „vykutálí“ jedním ze tří otvorů ve spodní části zařízení. Přístroj nedisponuje žádným pohonem, hnací silou je gravitační síla. Všechna zařízení od firmy iFetch jsou dimenzována pro jedinou specifickou velikost míčků.



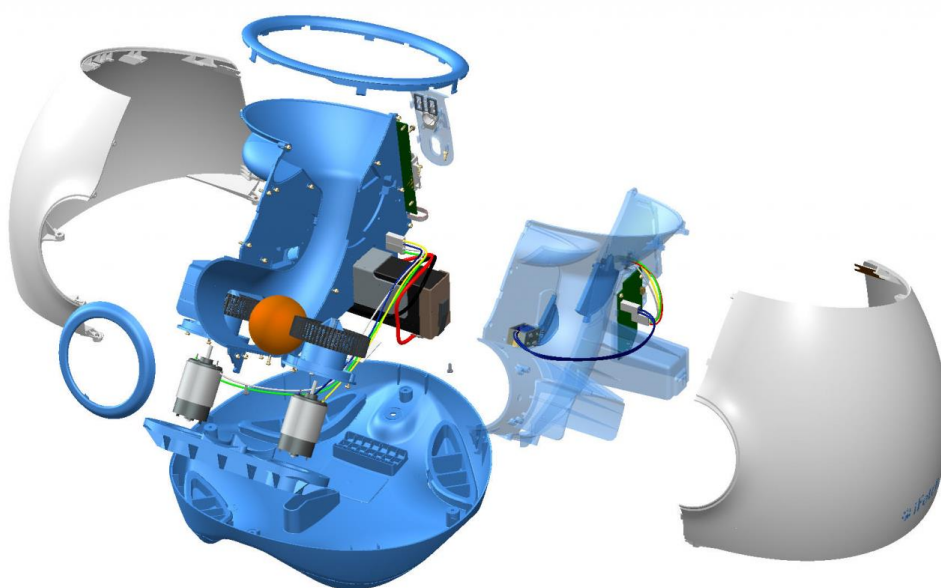
Obr. 2.1 iFetch Frenzy [9]

2.2 iFetch Original

Výrobky iFetch Original a iFetch Too jsou již zajímavější. Je mezi nimi jen malý rozdíl, prakticky se liší jen svou velikostí a vzdáleností dostřelu, který je v případě obou vrhačů nastavitelný, proto v této podkapitole popíši pouze zřízení iFetch Original. Přístroje jsou navrženy jednoduše a efektivně, pes vhodí míček do rozšířeného otvoru, míček sjede do příslušné polohy mezi dva kotouče. V trubici je umístěn snímač, který míček zaregistruje. Ten pak dá signál dvěma elektromotorům, které roztáčejí kotouče vzájemně opačným směrem tak, aby byl míček vymrštěn do prostoru.



Obr. 2.2 Vrhač iFetch Original [8]



Obr. 2.3 Konstrukční řešení vrhače iFetch original [8]

2.3 PetSafe

Další z řady automatických vrhačů je výrobek od firmy PetSafe. Na rozdíl od výrobků firmy iFetch je dimenzován na velikost běžných tenisových míčků. Bohužel, firma PetSafe (ani žádná z ostatních firem nabízejících automatické vrhače) nenabízí „pohled dovnitř“, proto je princip zařízení spíše dohadem. S největší pravděpodobností je v zařízení taktéž umístěn rotační kotouč či kotouče, které míček vrhají. Přístroj je možné nastavit na 9 různých vzdáleností dostřelu. Další vrhače v této kapitole neuvádím, všechna mnou nalezená zařízení jsou založena na podobném principu. Rozdíly mezi nimi jsou prakticky ve všech kritériích minimální.



Obr. Vrhač PetSafe 2.4 [9]

3 Jednotlivá konstrukční řešení

V následující kapitole navrhnu dle zadaných parametrů několik variant zařízení. Tyto pak dle zadaných a doplňujících parametrů (bezpečnost, komfort psa) zhodnotím a vyberu nejvhodnější z nich. Při popisu jednotlivých variant zmíním zařízení, která byla inspirací pro danou variantu.

3.1 Okrajové podmínky

Vrhač je navržen pro střední a velké psy. Maximální velikost balonku, který je vrhač schopen vystřelit je 100 mm. Při konstrukci jsem bral v potaz jistou rezervu při dimenzování částí zařízení, kterými míček prochází. Zařízení je určeno pro venkovní použití, a může dojít ke znečištění bahnem, což by mohlo narušit plynulý chod. Hmotnost balonku 500g přibližně odpovídá velkým gumovým (nebo dřevěným a jiným) míčkům určeným pro velké psy, kteří by mohli menší míčky (např. tenisový míček) velmi rychle zničit. Dalším důležitým kritériem, ke kterému je třeba přihlížet, je univerzální velikost míčku. Toto kritérium jsem zvolil vzhledem ke konkrétnímu dimenzování existujících vrhačů. Různí psi preferují různé typy míčků, proto může být možnost vystřelit míček víceméně univerzální velikosti atraktivní pro širší spektrum majitelů psů. Uvedený požadovaný dostřel je 10-15 metrů, ten by měl vyhovovat i menším zahradám.

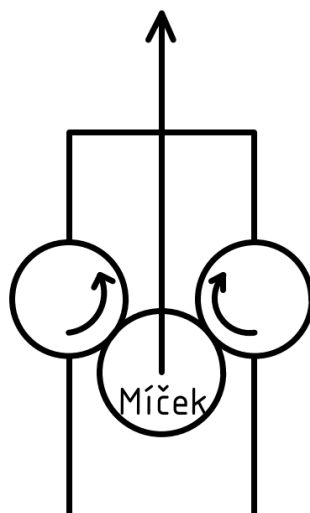
Kromě vrhu míčku by zařízení mělo být schopno také distribuovat pamlsky. Pamlsky slouží jako pozitivní motivace, při výcviku se pamlsky běžně používá jako odměna za správné splnění povelu. Distribuce pamlsků tedy usnadňuje výcvik a zařízení se pro psa stává atraktivnější. Pamlsky by měl být vypraven ze zařízení po umístění míčku do příslušné nádoby. Nádoba pro umístění míčku i miska, do které vypadne pamlsky, by měla být na stejné straně zařízení.

Na závěr je třeba přihlídnout ke skutečnosti, že je zařízení určeno pro běžného spotřebitele a mělo by tak splňovat několik dalších podmínek. Primárně je třeba se zaměřit na bezpečnost psa i majitele. Hlavní bezpečnostní rizika, která mohou u tohoto zařízení nastat jsou kolize s míčkem, ať už psa či člověka, úraz elektrickým proudem a poranění psa o samotné zařízení. Sekundárně by mělo být zařízení pro potenciálního zákazníka co

nejatraktivnější. Je třeba se zaměřit na příjemný vzhled a prvky zjednodušující a zkvalitňující užívání zařízení.

3.2 Varianta A

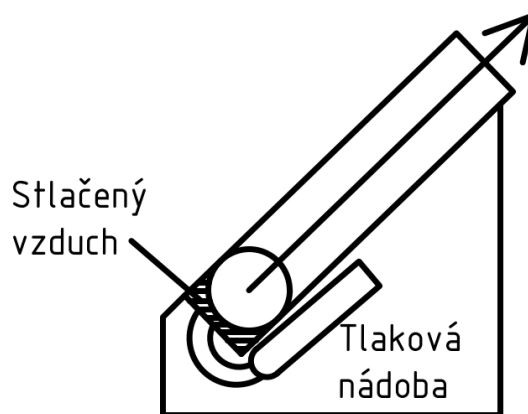
První variantou je již zmiňovaný systém se dvěma proti sobě rotujícími kotouči. Toto řešení je jednoduché, praktické a praxí několikrát ověřené. Přístroje na stejném principu jsou využívány k vystřelování tenisových, basebalových nebo pingpongových míčků. Problémem je univerzální typ míčku. Pro správný návrh takového typu přístroje je třeba znát konkrétní velikost a pružnost odpalovaného míčku. V opačném případě mohou nastat komplikace: malý míček nezíská dostatečnou rychlost, příliš tuhý míček neprojde mezi kotouči, příliš poddajný míček se promáčkne atp.



Obr. 3.1 Varianta A, schéma

3.3 Varianta B

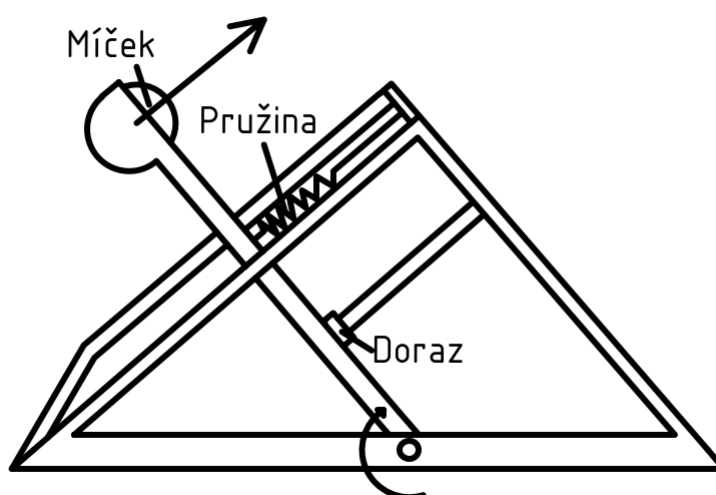
Pro druhou variantu návrhu zařízení jsem se inspiroval vzduchovými pistolemi. Po umístění míčku do tubusu je míček vymrštěn ven stlačeným vzduchem. Tato zařízení dosahují v praxi dobrých výsledků, problémem je však opět univerzální velikost míčku. Při využití míčku s výrazně menším průměrem, než je průměr tubusu, by nedošlo k odpálení požadovanou rychlostí. Stlačený vzduch by příliš rychle unikl okolo míčku. Vzduchová pistole by navíc pravděpodobně dělala příliš velký hluk, což by mohlo psa odradit.



Obr. 3.2 Varianta B, schéma

3.4 Varianta C

Pro návrh třetí varianty jsem se inspiroval historickými dobývacími zbraněmi, konkrétně katapultem. Ten byl schopen vrhnout několik typů projektilů do velkých vzdáleností. Univerzální velikost míčku tak nebude problémem. Při odpalu se rameno katapultu zastaví o doraz, hlučnost by tedy mohla být i v tomto případě problémem. Bude však výrazně nižší než v případě využití pneumatiky. Jako hnací sílu pro odpal navrhuji dvě tažné pružiny. Tu musí natáhnout vhodný pohon a rameno zajistit pojistka. Je nevhodné, aby míček po umístění do přístroje putoval přímo do odpalovacího koše. Mezi těmito sekcemi umístím karusel, který zajistí, aby se míček dostal do odpalovacího koše ve správnou chvíli, a aby se do koše nedostaly najednou dva nebo i více míčků.



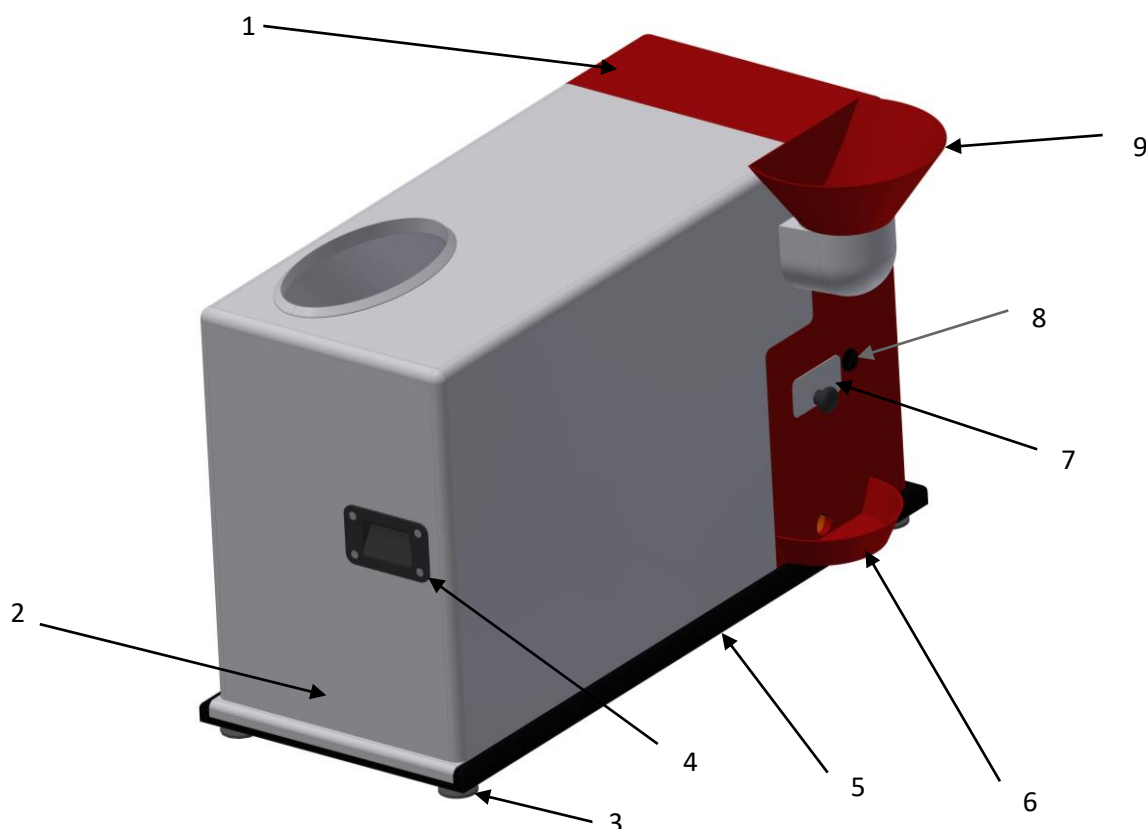
Obr. 3.3 Varianta B, schéma

4 Konstrukční návrh

Jako vhodný konstrukční návrh volím variantu C. Zařízení se aktivuje po vhození míčku do příslušné nádoby. Lineární aktuátor sklopí odpalovací rameno pod úhel 82° . Tím dojde k natažení pružin a zajištění pojistky. Aktuátor se poté stáhne do původní polohy. Míček je dopraven do odpalovacího koše skrze skříň s karuselem. Rotační pohyb zajišťuje krokový elektromotor. Ten pohání i druhý karusel, který zajistí transport pamlsku ze zásobníku ven ze zařízení. Po umístění míčku do odpalovacího koše dojde k aktivaci druhého krokového elektromotoru. Ten uvolní pojistku a dojde k vystřelení míčku ven ze zařízení.

Požadované parametry:

- max. průměr míčku 100 mm
- max. hmotnost míčku 500 g
- vrhaná vzdálenost 10-15 m

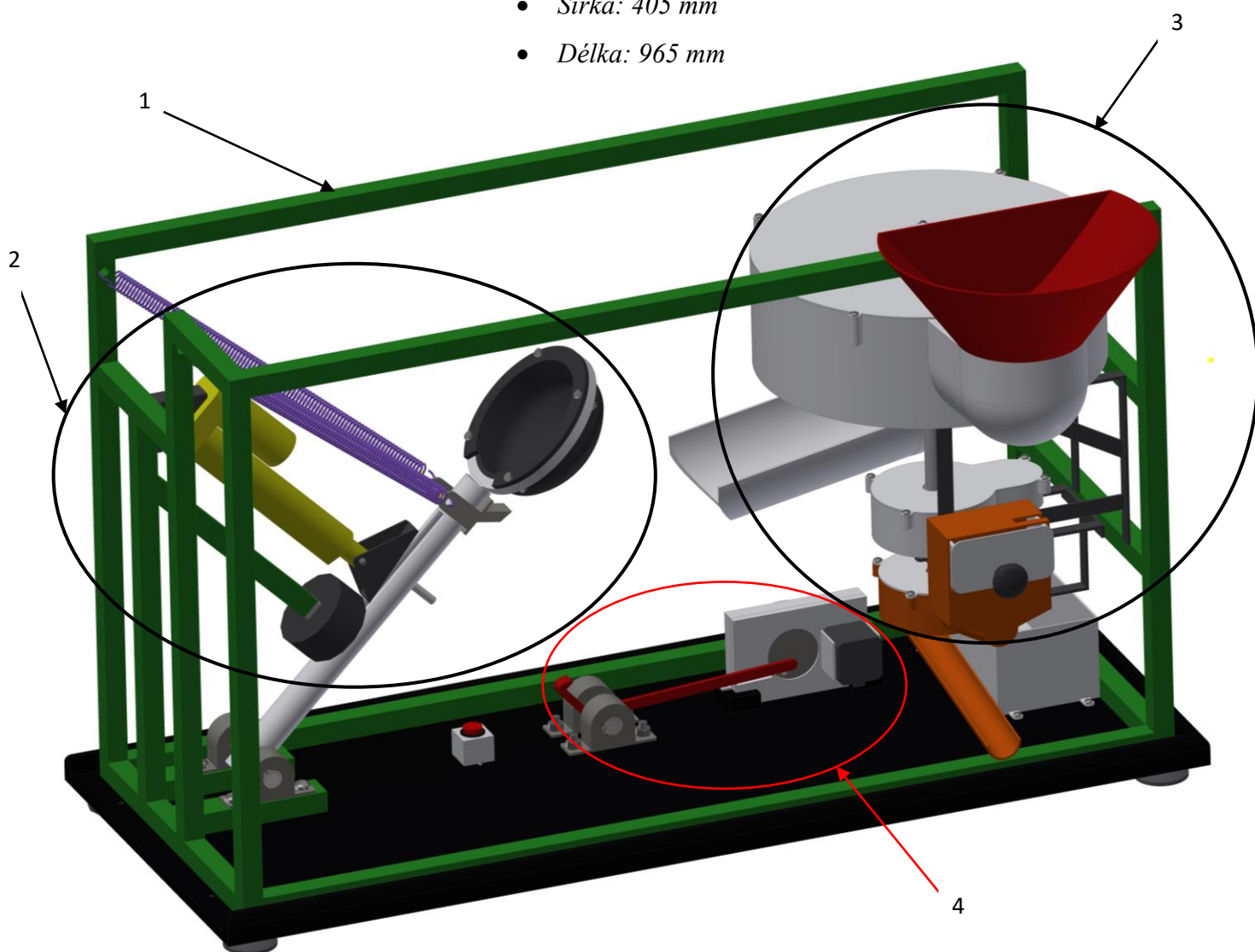


Obr. 4.1 Automatický vrhač míčků; 1 – Pravá část plastového krytu; 2 – Levá část plastového krytu; 3 – Polohovatelná noha; 4 – Zápustné madlo; 5 – Spodní kryt; 6 – Miska na pamlsky; 7 – Dvířka zásobníku na granule; 8 – Západka; 9 – Nádobka ke vhození míčku

Celé zařízení jsem rozdělil na tři jednotlivé sekce dle jejich funkcí. První, odpalovací sekce (obr 4.2, poz. 2) zajišťuje vrh míčku pod úhlem 45°. Druhá, transportní sekce (obr 4.2, poz. 3) zajišťuje dopravu míčku do odpalovacího koše a pamlsku ven ze zařízení. Třetí, pojistná sekce (obr 4.2, poz. 4) zajišťuje rameno v natažené poloze a ve správné chvíli jej uvolní. Ke každé sekci jsem navrhl vhodné mechanismy a pohony a spoje mezi jednotlivými komponentami a rámem. Při konstrukci jsem dbal na sestavitelnost celé sestavy. Provedl jsem návrh ovládací sítě, která je nezbytná pro správné fungování celého zařízení.

Základní rozměrové parametry:

- Výška: 580 mm (upravitelná polohovacími nohami)
- Šířka: 405 mm
- Délka: 965 mm



Obr. 4.2 Automatický vrhač míčků bez plastového krytí; 1 – Jeklový rám; 2 – Odpalovací sekce; 3 – Dopravní sekce; 4 – Pojistná sekce

4.1 Rám a krytí

Rám

Hlavní nosnou konstrukci tvoří rám svařený z jeklových profilů (obr. 4.2, poz. 1). Základní velikost jeklů je 20x20x1,5 mm. Je k němu přivařeno několik nosných konzol. Rám je umístěn na plastové základně a zakryt dvěma plastovými kryty.

Plastové krytí

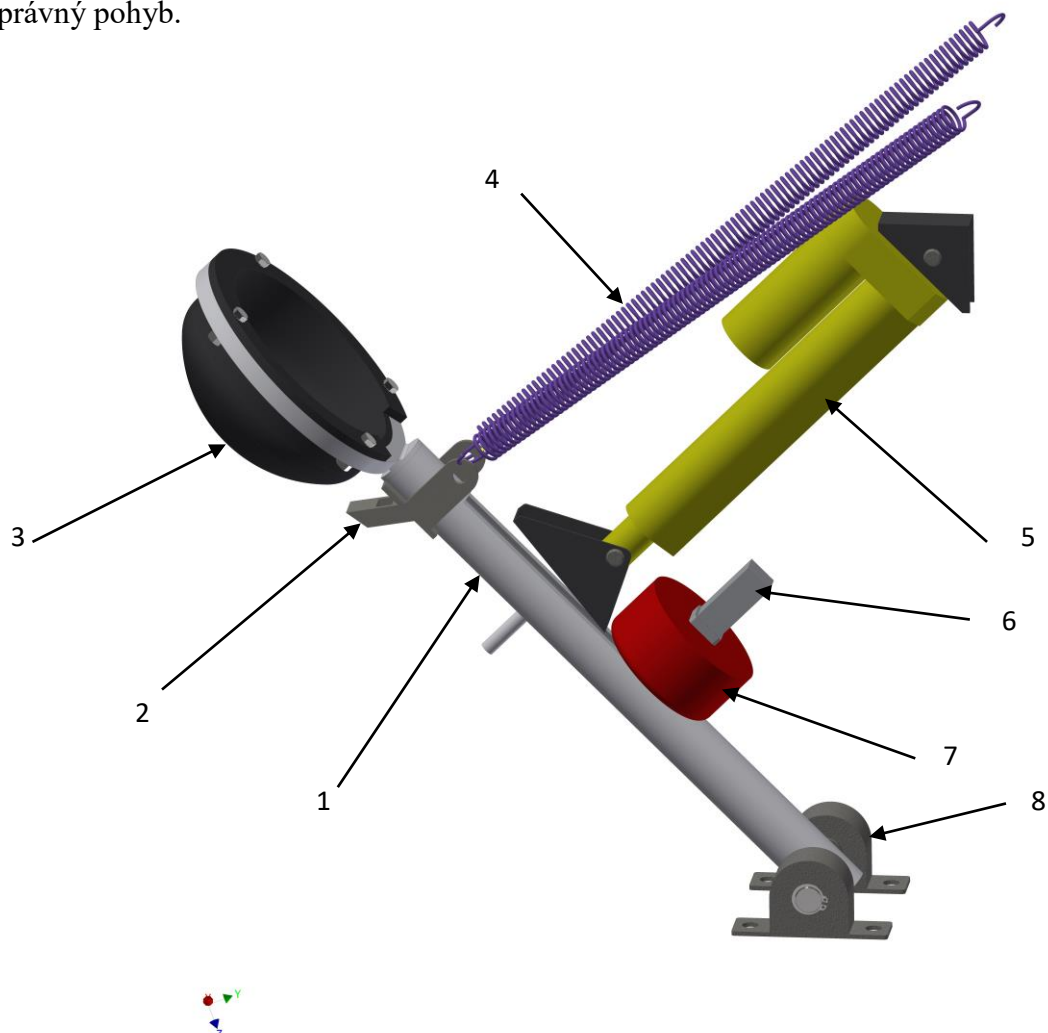
Zařízení je určeno pro venkovní použití, jeho kryt by proto měl být voděodolný. Jako vhodný materiál volím plast. Konstrukce krytí se skládá ze dvou plastových kusů, které objímají jeklový rám po celé ploše. Kryt také zabraňuje průniku vnějších nečistot do zařízení, zároveň se díky němu k vnitřním částem zařízení nedostane ani pes. Oba kryty jsou připevněny k základně několika šrouby. Krytem musí procházet trubka k dopravě míčků dovnitř do zařízení. Při montáži se proto nejdříve přišroubuje pravá část plastového krytu (obr 4.1, poz. 1), poté se zboku nasune delší část (obr 4.1, poz. 2), která je následně přišroubovaná také. Obě části jsou do sebe navíc zapuštěny kolíky. Do těla krytu jsou zasazena zápusťná madla (obr 4.1, poz. 4). V zadní části zařízení je umístěn otvor s našroubovaným víkem, které funguje jako kryt pro zástrčku. Zařízení by v žádném případě nemělo být za provozu napojeno k elektrické síti, pes je při používání zařízení bez dozoru majitele a mohlo by dojít k přehryzáni kabelu.

Základna

Základna (obr. 4.1, poz. 5) je rovněž tvořena z plastu, všechny krycí části na sebe těsně doléhají. V základně je několik vnitřních závitů pro uchycení šroubů a polohovacích nohou. Bočnice základny objímají oba kryty. Výjimku tvoří čelo základny, kde bočnice není, aby mohl být nasunut bílý kryt.

4.2 Odpalovací sekce

V odpalovací sekci jsou umístěny prvky, které slouží k vrhu míčku. Její hlavní část tvoří duté rameno z karbonových vláken o průměru 30 mm a další prvky, které zajišťují správný pohyb.



Obr. 4.3 Odpalovací sekce; 1 – Rameno; 2 – Konzola k zajištění pojistky; 3 – Odpalovací koš; 4 – Pružiny; 5 – Lineární aktuátor; 6 – Jeklová matice; 7 – Silentblok; 8 – Patkové uchycení

Rameno (Obr. 4.3, poz. 1)

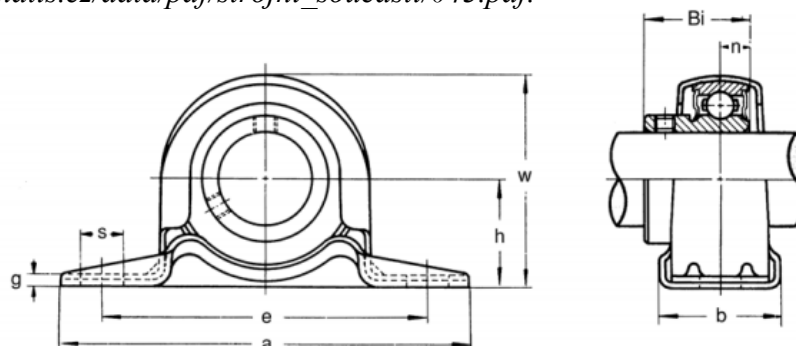
Je hlavní pohybovou částí první sekce. Je na něm umístěna konzola k uchycení pružin a zajištění pojistky (obr. 4.3, poz. 2). Do spodní části je nalisován čep, který slouží jako osa rotace. Horní část ramene je tvarována tak, aby do ní mohl být vložen a přišroubován odpalovací koš. Rameno je z jedné strany zploštělé, plocha je rovnoběžná s konzolou aktuátoru tak, aby byla zajištěna ideální styčná plocha. Rameno je z karbonových vláken, rameno tak má malou hmotnost a velkou pevnost.

Odpalovací koš (Obr. 4.3, poz. 3)

Je do něj dopraven míček těsně před odpalem. Koš je z tvrzené gumy, pružnost materiálu tlumí odraz míčku při dopadu a tím snižuje riziko, že by míček z koše vypadl. K ramenu je připojen šroubovými spoji, v případě znečištění je možné koš vyjmout a omýt.

Patkové uchycení (Obr. 4.3, poz. 8)

Krouticí moment přenáší čep, který je uložen ve dvou ložiskových domcích BPP 202. Maximální povolené zatížení ložiskového tělesa je 4,48 kN při dynamickém namáhání. Maximální síla, kterou působí pružiny na rameno je přibližně 0,8 kN. Ložiskové domky vyhovují. Nákres ložiskového domku jsem převzal ze stránky: http://www.matis.cz/data/pdf/strojni_soucasti/043.pdf.^[10]



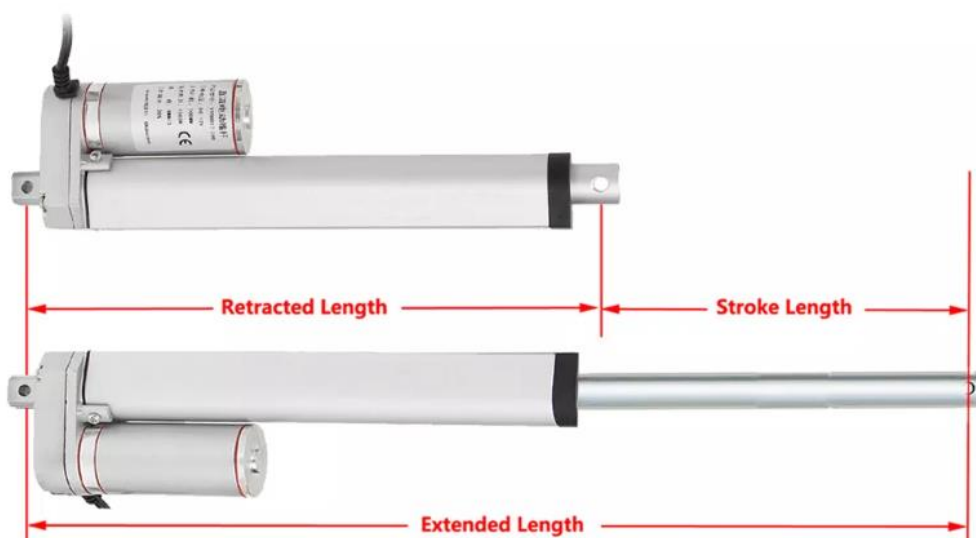
Typ	Ø hřídele [mm]	Rozměry [mm]									Velikost šroubu [mm]	Ložisko	Krytka	Hmotnost [kg]	Zatížení [kN]	
		h	a	e	b	r	g	w	Bi	n					Dynamic	Static
BPP 201	12	22,2	86	68	25	9	2,4	44	22	6	M8	B 1	PP 3	0,15	9,2	4,48
BPP 202	15	22,2	86	68	25	9	2,4	44	22	6	M8	B 2	PP 3	0,14	9,2	4,48
BPP 203	17	22,2	86	68	25	9	2,4	44	22	6	M8	B 3	PP 3	0,12	9,2	4,48
BPP 204	20	25,4	98	76	32	9	2,4	50	24,7	7	M8	B 4	PP 4	0,19	12,2	6,3
BPP 205	25	28,6	103	86	32	11	3,2	56	27,7	7,5	M10	B 5	PP 5	0,27	13,3	7,46
BPP 206	30	33,3	117	95	38	11	4	66	30,3	8	M10	B 6	PP 6	0,42	18,5	10,8
BPP 207	35	39,7	129	106	42	11	4,6	78	32,9	8,5	M10	B 7	PP 7	0,6	24,5	14,6

Obr. 4.4 Patkové uchycení [10]

Lineární aktuátor (Obr. 4.3, poz. 5)

Pro natažení ramene do příslušné polohy jsem zvolil lineární aktuátor o síle 1500 N a zdvihu 150 mm (blíže zdroj [11]). Aktuátor je pro tuto operaci ideální kvůli velké síle, kterou je schopen vyvinout, a přímočarému pohybu motoru. Aktuátor je čepem se závlačkou připevněn ke konzole, která je přivařena k jeklovému rámu. K aktuátoru je připevněna plošina, která je schopná se naklápět, čímž je zajištěn ideální styk s ramenem

po celou dobu natahování. Návrhové a kontrolní výpočty pro potřebnou sílu aktuátoru uvádím v další kapitole.



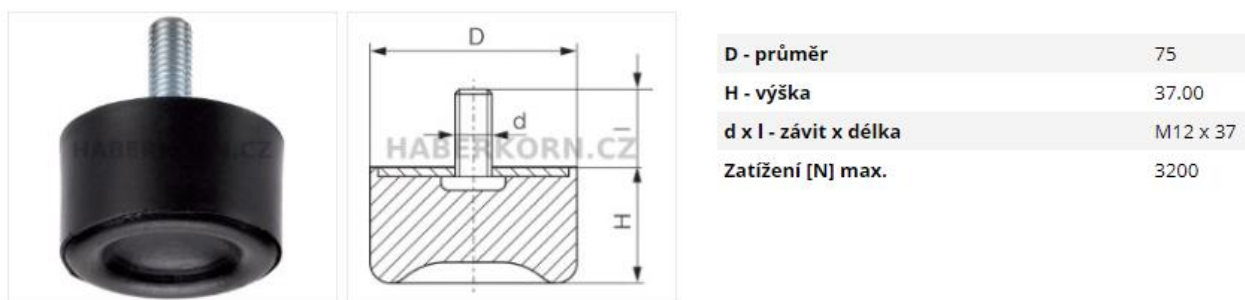
Obr. 4.5 Lineární aktuátor [11]

Pružiny (Obr. 4.3, poz. 4)

Sílu pro samotný odpal míčku zajišťují dvě pružiny 5 x 45 x 375 x 60. Návrhové a kontrolní výpočty uvádím v následující kapitole. Při konstrukci jsem dbal na to, aby byla pružina částečně natažena již ve výchozí poloze, aby při kontrakci nedošlo k jejímu uvolnění. Pružiny pod s výrobním číslem TZ 5000x0450x3750 vybírám z Katalogu pružin tažných.(blíže zdroj [12])

Silentblok (Obr. 4.3, poz. 7)

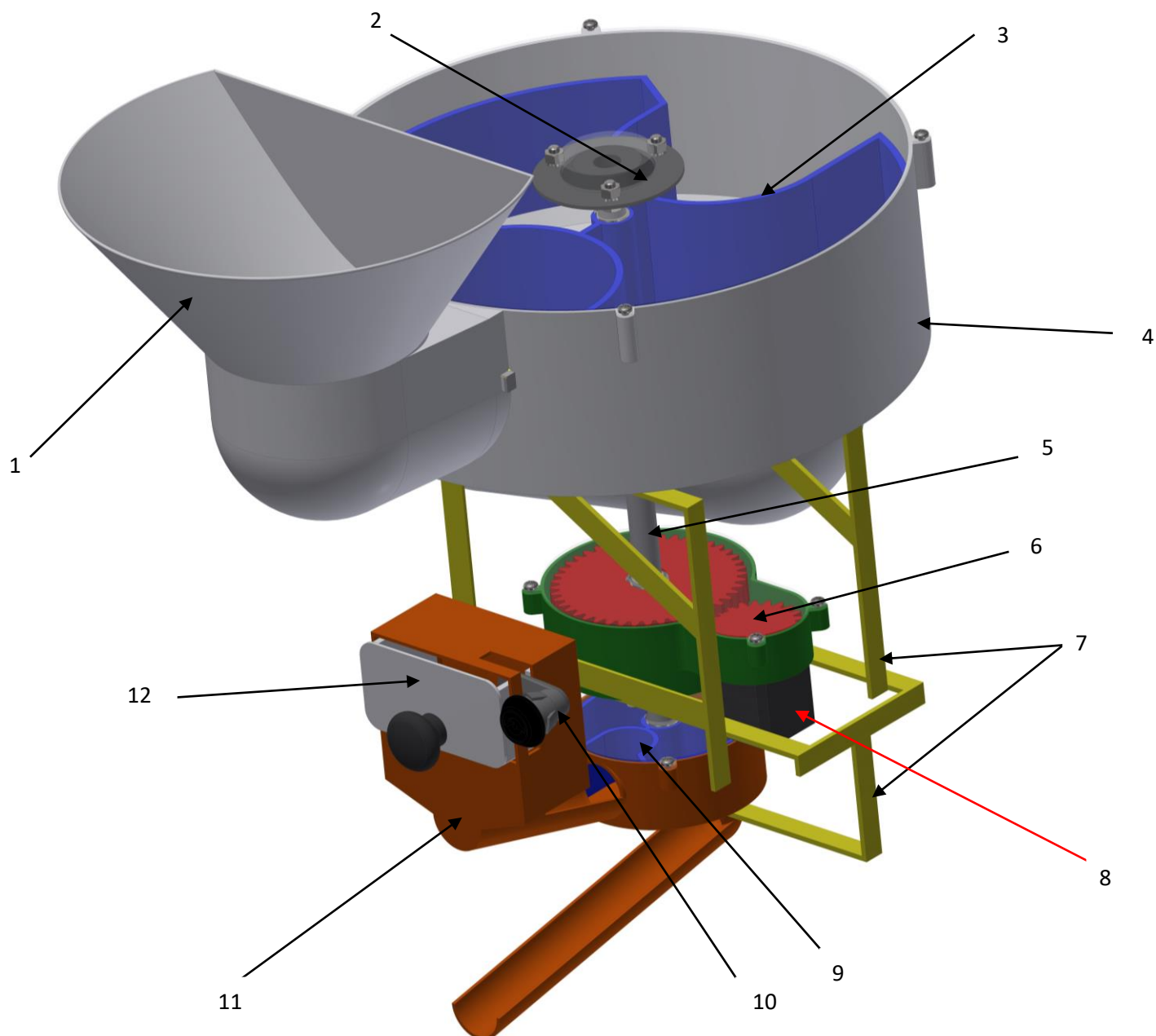
Při odpalu je třeba, aby se rameno v úhlu 45° zarazilo a tím došlo k vymrštění míčku ven ze zařízení. Jako doraz slouží pryžový silentblok (blíže zdroj [13]). Ten je našroubován k plastové zátce s vnitřním závitem (obr. 4.3, poz. 6), která je nasazena přímo do jeklu.



Obr 4.6 Dorazový Silentblok [13]

4.3 Dopravní sekce

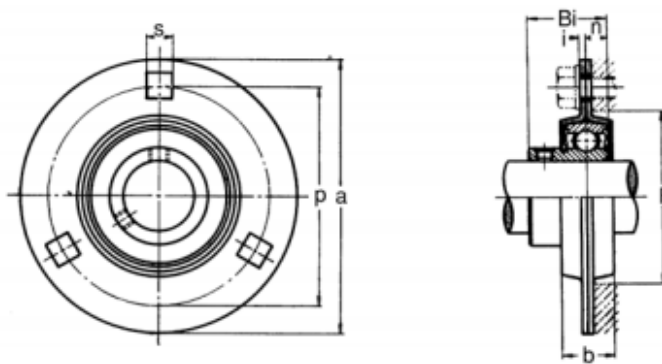
Slouží k dopravě míčku do odpalovacího koše a pamlsku ven ze zařízení. Pohonem této sekce je krokový elektromotor, který přes převodovku přenáší kroutící moment na hřídel. Ta roztáčí dva karusely umístěné ve skříních. Všechny součásti jsou šroubovými spojeními připevněny ke dvěma konzolám (obr. 4.7, poz. 8), které jsou přivařeny přímo k jeklovému rámu.



Obr. 4.7 Dopravní sekce; 1 – Nádoba ke vhození míčku; 2 – Ložiskové těleso; 3 – Karusel pro míčky; 4 – Skříň pro míčky; 5 – Hřídel; 6 – Převodovka; 7 – Nosné konzoly; 8 – Krokový elektromotor; 9 – Karusel pro pamlsky; 10 – Západka; 11 – Skříň pro pamlsky; 12 – Dvířka zásobníku na granule

Skříň určená k dopravě míčků (Obr. 4.7, poz. 4)

Je tvořena ze tří částí. Nádoby trychtýřového tvaru (obr. 4.7, poz. 1), do které pes vhazuje míček, rotační části a trubky, která vede k odpalovacímu koši. Míček se většinou pohybuje po mírně nakloněných rovinách. Výjimku tvoří rotační část, ve které míčkem pohybuje karusel. Vzhledem ke složitému tvaru, poměrně velkým rozměrům a malému celkovému zatížení na součást je nejvhodnějším materiálem pro výrobu plast. K víku skříně je připevněno ložiskové těleso BPF 202 (obr. 4.7, poz. 2), ve kterém je uložena hřídel. Skříň je spojena s konzolou šrouby se zápusťnou hlavou, aby nedocházelo ke kolizi šroubů a karuselu. Náčrt ložiskového tělesa jsem převzal ze stránky: http://www.matis.cz/data/pdf/strojni_soucasti/044.pdf.^[10]



Typ	Ø hřídele [mm]	Rozměry [mm]								Velikost šroubu [mm]	Ložisko	Krytka	Hmotnost [kg]	Zatížení [kN]	
		a	p	t	b	s	F [min.]	Bi	n					Dynamic	Static
BPF 201	12	81	63	2	14	7	49	22	6	M6	B 1	PF 3	0,21	9,2	4,48
BPF 202	15	81	63	2	14	7	49	22	6	M6	B 2	PF 3	0,2	9,2	4,48
BPF 203	17	81	63	2	14	7	49	22	6	M6	B 3	PF 3	0,18	9,2	4,48
BPF 204	20	90	71	2	16	9	56	24,7	7	M8	B 4	PF 4	0,25	12,2	6,3
BPF 205	25	95	76	2	18	9	60	27,7	7,5	M8	B 5	PF 5	0,35	13,3	7,46
BPF 206	30	113	90	2,6	18	11	71	30,3	8	M8	B 6	PF 6	0,54	18,5	10,8
BPF 207	35	122	100	2,6	20	11	81	32,9	8,5	M10	B 7	PF 7	0,71	24,5	14,6

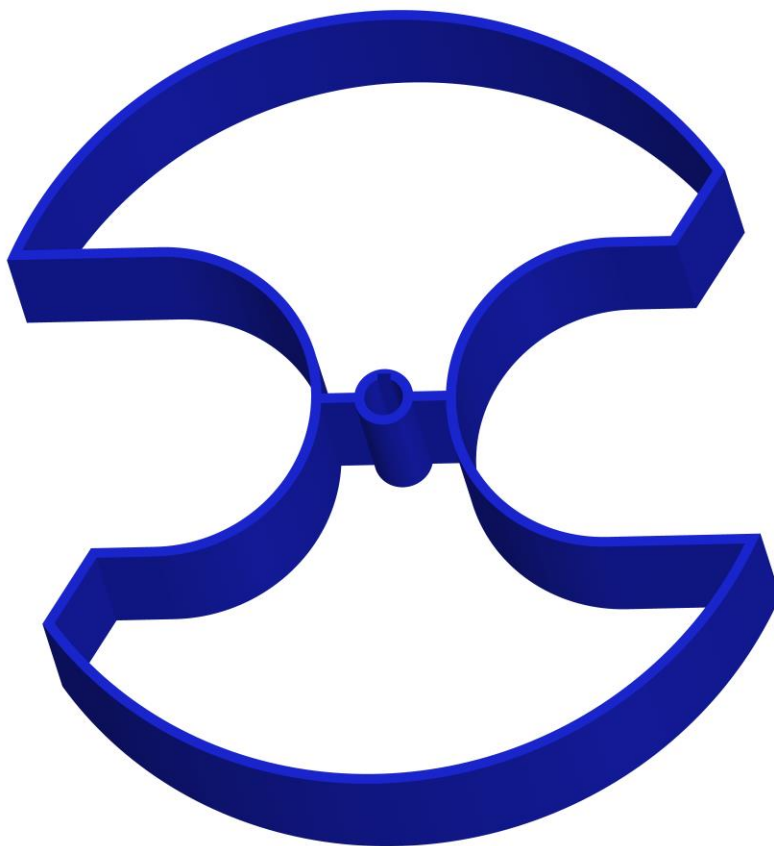
Obr. 4.8 Ložiskové těleso BPF 202 [10]

Skříň určená k dopravě pamlsků (Obr. 4.7, poz. 11)

Je taktéž tvořena ze tří částí: zásobníku na granule, rotační části a trubky, která vede ven ze zařízení. Ze zásobníku se pamlsky dostávají do rotační části po nakloněné rovině, karusel pak zajišťuje distribuci pamlsků po jednotlivých dávkách. Zásobník je opatřen dvířky (obr. 4.7, poz. 12) se západkou (obr. 4.7, poz. 10).

Karusely

Rotační karusely zajišťují rotační pohyb míčku (obr. 4.7, poz. 3) a pamlsku (obr. 4.7, poz. 9) tak, aby se dostaly nad propadlo. Oba karusely mají zkosenou jednu z bočních stěn, což by mělo zabránit zaseknutí přístroje. Pokud by se do karuselu dostaly najednou dva míčky mělo by zkosení vytlačit druhý míček směrem zpátky, stejně jako v případě druhého karuselu, do kterého se větší množství pamlsků sype neustále. Kroutící moment je na oba karusely přenášen těsným perem, na hřídeli jsou karusely zajištěny pojistnými kroužky. Oba karusely jsou poháněny jednou hřídelí, otáčejí se současně.



Obr. 4.9 Karusel pro dopravu míčků

Hřídel (Obr. 4.7, poz. 5)

Hřídel přenáší velmi malý kroutící moment, není proto třeba provádět návrhové výpočty. Průměr hřídele 15 mm se tedy vztahuje spíše k délce hřídele než k přenášenému točivému momentu. Je uložena ve dvou ložiskových domcích BPF 202.

Převodovka (Obr. 4.7, poz. 6)

Při návrhu převodovky hrál nejdůležitější roli převodový poměr $u=2$. V tomto konkrétním případě nehraje roli zesílení krouticího momentu, ale přesné otočení karuselů o 180° . V případě, že by se karusel neotočil o přesně půl otáčky, by po několika cyklech mohlo dojít k chybám ve funkci přístroje.

Krokový elektromotor (Obr. 4.7, poz. 8)

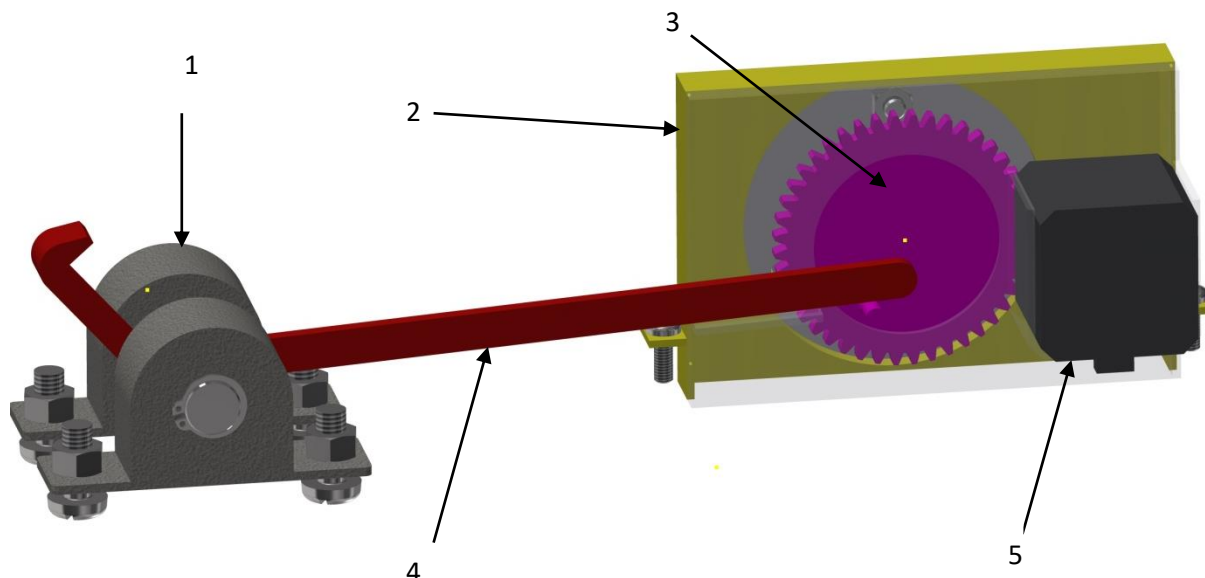
Jako vhodný pohon volím krokový elektromotor HANPOSE 17HS4401-S (blíže zdroj [14]), který je schopen vyvinout krouticí moment $0,4 \text{ N}\cdot\text{m}$. Pro účely této části přístroje je krokový motor ideální. Má pomalé otáčky, k dopravě míčku a pamlsku stačí malý točivý moment a lze nastavit tak, aby se otočil o přesně jednu otáčku.



Obr. 4.10 Krokový elektromotor HANPOSE 17HS4401-S [14]

4.4 Pojistná sekce

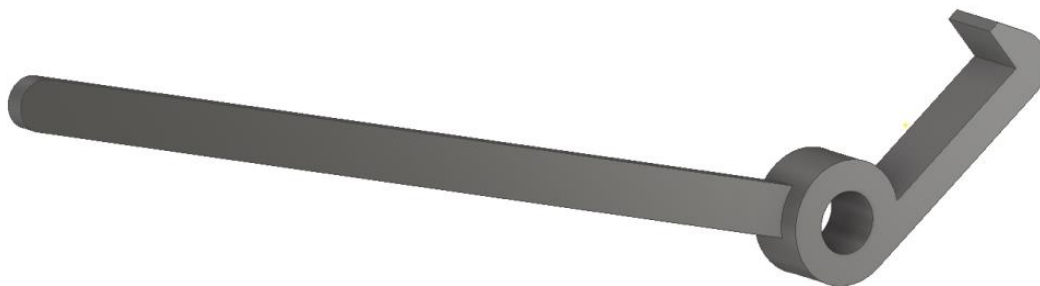
Slouží k zajištění ramene v nataženém stavu a k následnému odjištění.



Obr. 4.11 Pojistná sekce; 1 – Patkové uchycení; 2 – Skříň převodovky; 3 – Převodovka; 4 – Pojistka; 5 – Krokový elektromotor

Pojistka (Obr 4.11, poz. 4)

Speciálně vytvarovaná součást, na náboji jsou umístěna dvě ramena. Kratší rameno s hákem mechanismus zajišťuje, delší rameno funguje jako páka k odjištění. Náboj je nalisován na čep o průměru 15 mm. Rameno při natahování vychýlí pojistku díky tvarování konzoly a háku, do původní polohy se vrací gravitační silou. V této chvíli je celý mechanismus zajištěn.



Obr. 4.12 Pojistka

Patkové uchycení (Obr 4.11, poz. 1)

Čep pojistky je, stejně jako čep odpalovacího ramene, uložen ve dvou ložiskových domcích BPP 202.

Převodovka (Obr 4.11, poz. 3)

Slouží k odjištění pojistky. Na ozubeném kole je čep, který zvedne rameno pojistky a tím ji odjistí. Stejně jako u první převodovky bylo třeba, aby se druhé ozubené kolo zastavilo přesně po jedné otáčce. Převodovka proto byla navržena tak, aby se převodový poměr rovnal přesně dvěma. Pokud by se ozubené kolo otočilo o více či méně než jednu otáčku, po několika cyklech by čep na ozubeném kole mohl způsobovat vychýlení pojistky i v klidovém stavu.

Krokový elektromotor (Obr 4.11, poz. 5)

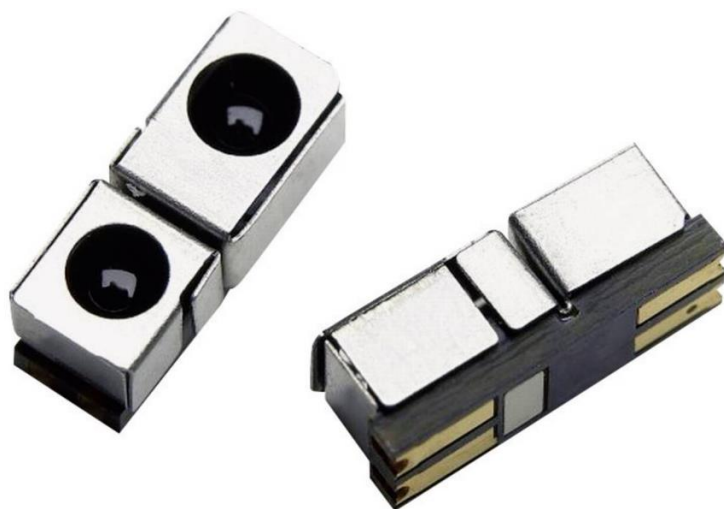
Pohonem pro převodovku je krokový elektromotor HANPOSE 17HS4401-S. Stejně jako v předchozím případě je krokový elektromotor ideálním řešením kvůli možnosti přesného nastavení dvou otáček.

4.5 Ovládací síť

Zařízení má pracovat automaticky, pro jeho správné fungování je nezbytná ovládací síť. Ta se skládá ze dvou optických senzorů a jednoho tlačítka, které spouští jednotlivé operace na základě aktuálního stavu přístroje.

Optické senzory

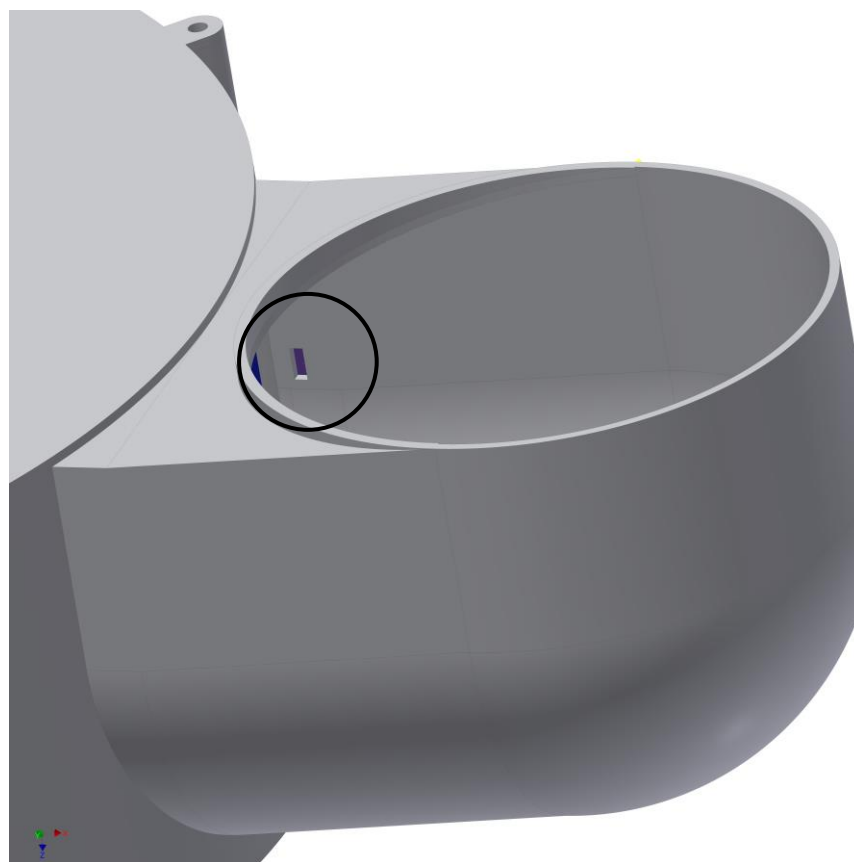
Jako vhodné optické senzory volím senzory Avago Technologies HSDL-9100-021 (blíže zdroj [16]) s maximálním dosahem 200 mm. Oba senzory jsou uloženy v plastových krytkách.



Obr. 4.13 Optický senzor Avago Technologies HSDL-9100-021

Optický senzor 1

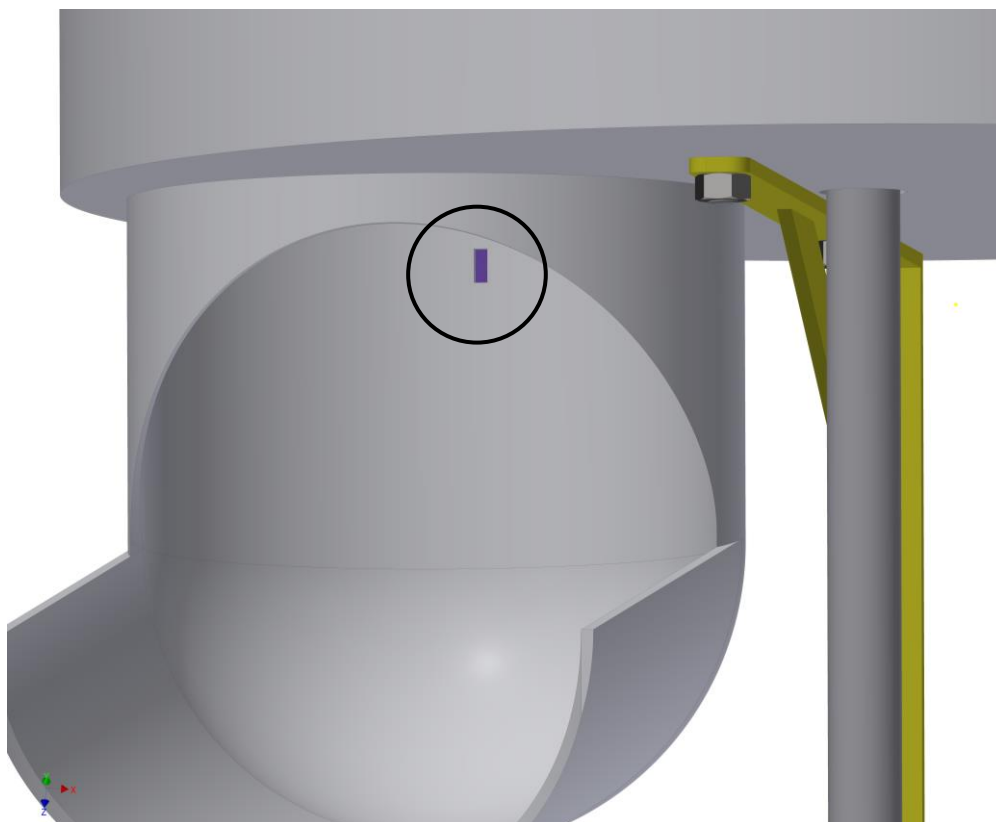
První optický senzor umísťuji do skříně na míčky, těsně před rotační část. Míček projde snímanou oblastí těsně po vhození.



Obr. 4.16 Umístění optického senzoru 1

Optický senzor 2

Druhý optický senzor umísťuji do trubky vedoucí pod rotační částí, která dopravuje míček do odpalovacího koše.



Obr. 4.15 Umístění optického senzoru 2

Tlačítko

Jako vhodnou součástku pro aktivaci odpalovacím ramenem volím tlačítko TRU COMPONENTS TC-R13-527A-02RT (blíže zdroj [15]). Tlačítko je umístěno v krabici, která je přišroubována k základně.

Řídící jednotka

Součástí zařízení musí být také baterie a řídící jednotka. Vzhledem ke svému oboru a nedostatečným znalostem v oblasti elektroniky pouze vymezuji prostor pro tyto součásti ve skříni v zadní části zařízení. Pro zvýšení bezpečnosti je také možné umístit do přední části zařízení pohybový senzor, který by měl zabránit vystřelení míčku, když zjistí něčí přítomnost v odpalové zóně. Odpal míčku také může provázet akustický signál.

4.6 Seznam operací

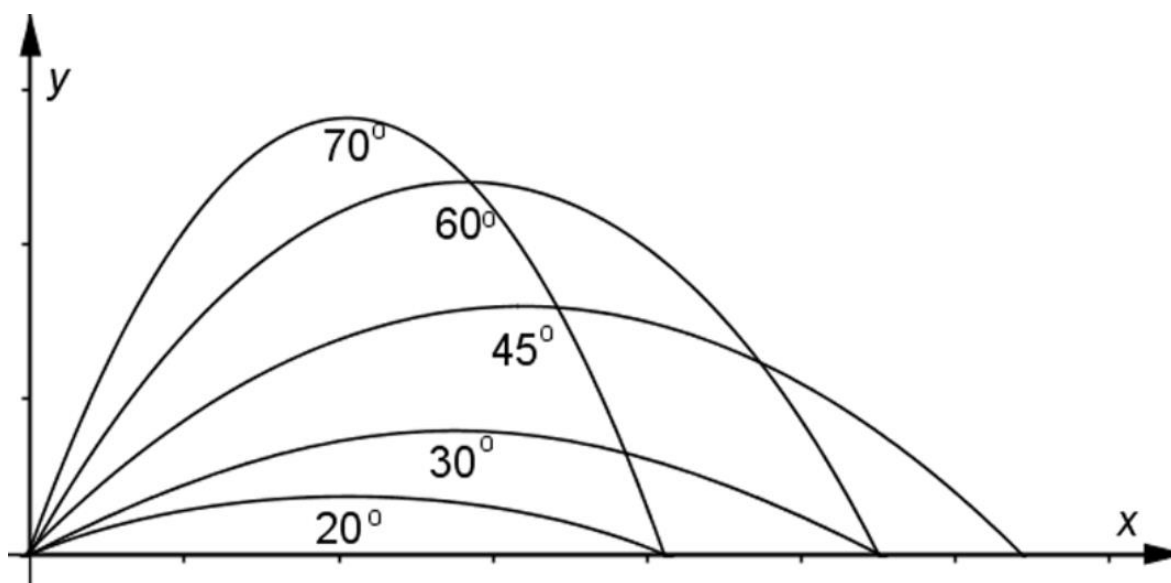
Na závěr popisu konstrukčního návrhu přidávám podrobný popis jednotlivých kroků.

1. Míček je vhozen do trychtýřové nádoby. Prochází snímanou oblastí prvního snímače a propadá do rotační části s karuselem.
2. Řídící jednotka aktivuje lineární aktuátor, který natáhne odpalovací rameno. Dojde k zajištění pojistky a stisknutí tlačítka.
3. Lineární aktuátor se stahuje zpět, první z elektromotorů (sekce dopravní) se otočí o přesně jednu otáčku. Karusely se otočí o půl otáčky, ze zařízení vypadává pamlsek. Míček padá propadlem skrze snímanou oblast druhého optického snímače a dopadá do odpalovacího koše.
4. Mezi krokem 3 a 4 je nutná prodleva, minimálně 35 sekund, aby nedošlo ke kolizi mezi odpalovacím ramenem a aktuátorem. Poté vykoná druhý elektromotor (sekce pojistná) přesně dvě otáčky, dojde k uvolnění pojistky, tím pádem k vymrštění míčku.

5 Návrhové a kontrolní výpočty

5.1 Výpočet tuhosti pružiny

Jako první je třeba určit rychlost, kterou musí míček opustit zařízení tak, aby dostřel vyhovoval zadaným parametrům. Pro výpočet používám vzorec šikmého vrhu. Úhel vrhu je 45° , který je ideální co se týče vzdálenosti dopadu. Z požadovaného dostřelu 10-15 metrů volím jako hodnotu pro výpočet 10 m. Pružinu totiž dimenzuji pro limitní váhu míčku, 500 g. Lehčí míčky pak doletí do větší vzdálenosti.



Obr. 5.1 Ideální úhel vrhu [5]

Potřebná rychlost míčku

$$v_0 = \sqrt{\frac{s_{\max} \cdot g}{\sin 2\alpha}} \quad (1)$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{10 \cdot 9,81}{\sin 90}}$$

$$v_0 = \underline{\underline{10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

s_{\max}	-	požadovaný dostřel	[m]
g	-	tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
α	-	úhel vrhu	[°]
v_0	-	potřebná rychlost míčku	[m·s ⁻¹]

Při návrhu pružiny vycházím ze vzorce zachování energie. Vychýlení pružiny určuji z konstrukčního návrhu, kde je při maximálním nátahu výchylka $x = 180 \text{ mm}$. Pružina musí navíc splňovat dvě podmínky: minimální délka pružiny musí být menší než 389 mm, aby byla i v klidovém stavu mírně natažená, a maximální délka musí být dle konstrukčního návrhu větší než 569 mm. V konstrukčním návrhu používám dvě pružiny. K hmotnosti míčku 500 g je nutné přičíst hmotnost ramene a opalovacího koše. Jejich přibližnou hmotnost zjišťuji pomocí programu Autodesk Inventor. Hmotnost ramene je přibližně 400 g, hmotnost koše 200 g. Celková hmotnost soustavy je tedy 1,1 kg.

Potřebná tuhost pružin

$$k_p = \frac{m \cdot v_0^2}{ix^2} \quad (2)$$

$$k_p = \frac{1,1 \cdot 10^2}{2 \cdot 0,18^2}$$

$$k_p = 1697 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} = \underline{\underline{1,697 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}}$$

m	-	hmotnost soustavy	[kg]
i	-	počet pružin	[-]
x	-	výchylka pružiny	[m]
k_p	-	požadovaná tuhost pružiny	[N·m ⁻¹]

Tuhost jedné pružiny by se měla rovnat přibližně $1,697 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$. Z katalogu volím pružinu 5 x 45 x 375 x 60 o tuhosti $1,638 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$. Délka pružiny v nenataženém stavu je 375 mm. Maximální délka, na kterou je možné pružinu natáhnout je 700mm. Tento typ pružiny tedy splňuje obě výše zmíněné rozměrové podmínky. Přestože je tuhost pružin velmi blízká, provádím kontrolní výpočet skutečné rychlosti míčku.

Skutečná rychlost míčku

$$v = \sqrt{\frac{i \cdot k \cdot x^2}{m}} \quad (3)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,638 \cdot 0,18^2}{1,1}}$$

$$v = \underline{\underline{10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

v - skutečná rychlost míčku $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Skutečná rychlost míčku odpovídá požadované rychlosti. Míček o hmotnosti 500 g doletí do vzdálenosti 10 m. Výpočet opouštějící rychlosti a odpovídajícího dostřelu provedu i pro tenisový míček, který se mezi chovateli běžně používá jako aport. Hmotnost tenisového míčku je přibližně 60 g. Součet hmotností celé soustavy s tenisovým míčkem je 0,66 kg.

Rychlost vrhu tenisového míčku

$$v_t = \sqrt{\frac{i \cdot k \cdot x^2}{m_t}} \quad (4)$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,638 \cdot 0,18^2}{0,66}}$$

$$v_t = \underline{\underline{12,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

m_t - hmotnost soustavy s tenisovým míčkem $[\text{kg}]$

v_t - rychlost tenisového míčku $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Dostřel tenisového míčku

$$s_t = \frac{v_t^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \quad (5)$$

$$s_t = \frac{12,7^2 \cdot \sin 90}{9,81}$$

$$s_t = \underline{\underline{16,5 \text{ m}}}$$

s_t - dostřel tenisového míčku $[\text{m}]$

Dostřel tenisového míčku je 16,5 m. S velkým rozptylem hmotností různých typů balonků souvisí i rozptyl vzdáleností, do kterých míček doletí. Rozdíl v dostřelech 6,5 metru mezi velmi těžkým míčkem a lehkým tenisovým míčkem považuji za přijatelný. V návodu k použití zařízení by mělo být zmíněno, že parametry tenisového míčku jsou, co se hmotnosti i rozměrů týče, spodní hranicí. S menšími míčky by mohly nastat různorodé komplikace.

5.2 Návrhový výpočet lineárního aktuátoru

Lineární aktuátor musí při nátahu překonat sílu pružin. Ta navíc působí, vzhledem k ose rotace, ve větší vzdálenosti než aktuátor. Proto je kromě vypočítání síly pružiny při plném natažení nutné provést rozklad sil na rameni. Při výpočtech je třeba brát v potaz, že pružina je již v klidové poloze napjatá, výchylka pružiny tedy bude jiná než v předchozích případech. K výsledné síle je navíc potřeba přičíst předpětí pružiny, které je 68 N.

Síla pružin při plném nátahu

$$F_P = i \cdot (F_O + k \cdot (L_N - L_{MIN})) \quad (6)$$

$$F_P = 2 \cdot (68 + 1,638 \cdot (569 - 375))$$

$$F_P = \underline{\underline{771 \text{ N}}}$$

F_P	-	síla pružin	[N]
i	-	počet pružin	[-]
k	-	skutečná tuhost pružin	[N·mm ⁻¹]
L_N	-	délka pružiny při plném nátahu	[mm]
L_{MIN}	-	základní délka pružiny	[mm]
F_O	-	předpětí pružiny	[N]

Potřebná síla aktuátoru

$$F_A = \frac{F_P \cdot r_P}{r_A} \quad (7)$$

$$F_A = \frac{771 \cdot 0,3}{0,2}$$

$$F_A = \underline{\underline{1156,5 \text{ N} < 1500 \text{ N}}}$$

F_A	-	minimální potřebná síla aktuátoru	[N]
r_P	-	rameno síly pružiny	[m]
r_A	-	rameno síly aktuátoru	[m]

Navržený lineární aktuátor vyhovuje.

5.3 Návrhový výpočet elektromotoru

Návrhový výpočet se vztahuje k druhému elektromotoru umístěnému v pojistné sekci, který musí překonat třecí sílu v pojistce. První elektromotor má za úkol přesun míčku, při použití stejně výkonného elektromotoru by pak neměl nastat problém. Pro správný výpočet je třeba nejdříve určit třecí sílu v pojistce, poté vypočítat rozklad sil na rameni. Ze síly potřebné pro zdvih pojistky vypočítám výstupní krouticí moment převodovky, který vydělím převodovým poměrem.

Třecí síla v pojistce

Pružiny a pojistka jsou na rameni upevněny ve stejné vzdálenosti, kolmo proti sobě. Normálová síla v pojistce F_N se tedy rovná síle v pružinách F_P .

$$F_T = F_N \cdot f \quad (8)$$

$$F_T = 771 \cdot 0,15$$

$$F_T = \underline{\underline{115,65 \text{ N}}}$$

F_N	-	normálová síla v pojistce	[N]
-------	---	---------------------------	-----

f	-	součinitel smykového tření ocel x ocel	[-]
-----	---	----------------------------------------	-----

F_T	-	třecí síla	[N]
-------	---	------------	-----

Rozklad sil na rameni

$$F_x = \frac{F_T \cdot r_1}{r_2} \quad (9)$$

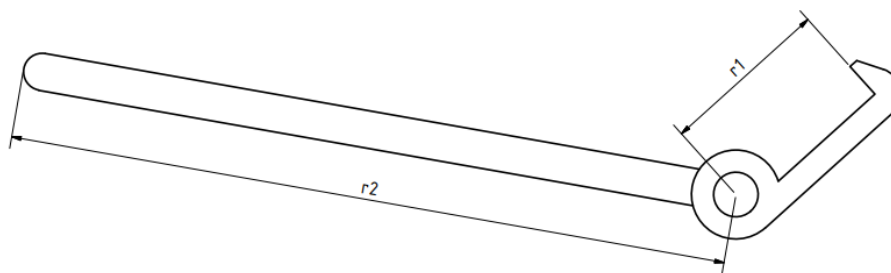
$$F_x = \frac{115,65 \cdot 0,045}{0,2}$$

$$F_x = \underline{\underline{26 \text{ N}}}$$

F_x	-	potřebná síla na rameni pojistky	[N]
-------	---	----------------------------------	-----

r_1	-	rameno třecí síly	[m]
-------	---	-------------------	-----

r_2	-	rameno páky	[m]
-------	---	-------------	-----



Obr. 5.2 Ramena páky

Kroutící moment motoru

$$M_E = \frac{F_x \cdot r_{\xi}}{u} \quad (10)$$

$$M_E = \frac{26 \cdot 0,02}{2}$$

$$M_E = \underline{\underline{0,26 \text{ N}\cdot\text{m} < 0,4 \text{ N}\cdot\text{m}}}$$

r_{ξ}	-	rameno čepu	[m]
u	-	převodový poměr	[-]
M_E	-	potřebný kroutící moment elektromotoru	[N·m]

Navržený krokový elektromotor vyhovuje.

5.4 Návrhové a kontrolní výpočty čepu

Provedu návrhové a kontrolní výpočty pro čep v pojistce. Navrhnou průměr čepu podle ohybu, zkontroluji tlak ve stykové ploše čepu a provedu kontrolu na střih. Jako materiál čepu volím ocel 11 500. Síla F_N v pojistce je časově proměnlivá, proto snižuji hodnotu σ_{Dov} a τ_{Dov} o 30%.

$$p_2 = \frac{F_N}{d_\xi \cdot l_2} \leq p_d \quad (13)$$

$$p_2 = \frac{771}{15 \cdot 13} \leq p_d$$

$$p_2 = 3,95 \text{ MPa} \leq 60 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

p_1, p_2	-	tlak na stykové ploše čepu a vidlice	[MPa]
l_1	-	délka vidlice	[mm]
l_2	-	délka náboje	[mm]
p_D	-	dovolený tlak	[MPa]

Kontrola na střih

$$\tau_S = \frac{F_N}{\pi \cdot d_\xi^2} \leq \tau_{ds} \quad (14)$$

$$\tau_S = \frac{771}{\pi \cdot 15^2} \leq \tau_{ds}$$

$$\tau_S = 1 \text{ MPa} \leq 49 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

τ_S	-	smykové napětí	[MPa]
τ_{ds}	-	dovolené smykové napětí	[MPa]

5.5 Nalisování pojistky na čep

Provedu návrhový výpočet pro nalisování pojistky na čep. Dle výpočtu vyberu vhodnou rozměrovou toleranci čepu a podle maximálního přesahu mezi čepem a nábojem provedu kontrolu nalisovaného spojení. Kvůli poměrně malým rozměrům součástí volím toleranci díry v náboji H3.

Přenášený kroutící moment

$$M_k = F_T \cdot r_1 \quad (15)$$

$$M_k = 115,65 \cdot 35$$

$$M_k = 4048 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

F_T	-	třecí síla v pojistce	[N]
r_1	-	rameno třecí síly	[mm]

M_k - přenášený kroutící moment [N·mm]

Minimální potřebný tlak

$$p_{MIN} = \frac{2 \cdot k_t \cdot M_k}{\pi \cdot d_\xi \cdot l_2 \cdot f} \quad (16)$$

$$p_{MIN} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 4048}{\pi \cdot 15^2 \cdot 13 \cdot 0,15}$$

$$p_{MIN} = \underline{\underline{11,74 \text{ MPa}}}$$

k_t - bezpečnost spoje třením [-]

d_ξ - průměr čepu [mm]

l_2 - délka náboje [mm]

f - součinitel smykového tření ocel x ocel [-]

p_{MIN} - minimální potřebný tlak [MPa]

Rozměrová konstanta náboje

$$C_n = \frac{d_2^2 + d_1^2}{d_2^2 - d_1^2} \quad (17)$$

$$C_n = \frac{24^2 + 15^2}{24^2 - 15^2}$$

$$C_n = \underline{\underline{2,28}}$$

d_2 - vnější průměr náboje [mm]

C_n - rozměrová konstanta náboje [-]

Minimální přesah

$$\Delta d_{1MIN} = d_1 \cdot p_{MIN} \cdot \left(\frac{C_n + 1}{E} \right) \quad (18)$$

$$\Delta d_{1MIN} = 15 \cdot 11,74 \cdot \left(\frac{2,28 + 1}{2,1 \cdot 10^5} \right)$$

$$\Delta d_{1MIN} = \underline{\underline{0,00275 \text{ mm}}}$$

E - modul pružnosti v tahu [MPa]

Δd_{1MIN} - minimální přesah [mm]

Minimální dolní mezní rozměr čepu

$$d_{mr_{MIN}} = HMR + \Delta d_{1MIN} \quad (19)$$

$$d_{mr_{MIN}} = 0,003 + 0,0027$$

$$d_{mr_{MIN}} = 0,0057 \text{ mm}$$

HMR - horní mezní rozměr díry [mm]

$d_{mr_{MIN}}$ - minimální dolní rozměr čepu [mm]

Dle strojnických tabulek volím rozměrovou toleranci čepu m4. Dolní mezní rozměr je 0,007 mm, horní mezní rozměr 0,012 mm.

Maximální přesah

$$\Delta d_{1MAX} = DMR + hmr \quad (20)$$

$$\Delta d_{1MAX} = 0 + 0,012$$

$$\Delta d_{1MAX} = 0,012 \text{ mm}$$

DMR - dolní mezní rozměr díry [mm]

hmr - horní mezní rozměr hřídele [mm]

Δd_{1MAX} - maximální přesah [mm]

Maximální tlak

$$p_{MAX} = \frac{\Delta d_{1MAX} \cdot E}{d_1 \cdot (C_n + 1)} \quad (21)$$

$$p_{MAX} = \frac{0,012 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{15 \cdot (2,28 + 1)}$$

$$p_{MAX} = \underline{\underline{51 \text{ MPa}}}$$

Výsledná kontrola

$$\sigma_{RED} \leq \sigma_D \quad (22)$$

$$p_{MAX} \cdot (C_n + 1) \leq \frac{Re}{k_s}$$

$$51 \cdot (2,28 + 1) \leq \frac{260}{1,5}$$

167,28 ≤ 173 → Nalisované spojení vyhovuje

σ_{RED}	-	redukované napětí	[MPa]
σ_D	-	dovolené napětí	[MPa]
R_e	-	mez kluzu	[MPa]
k_s	-	součinitel bezpečnosti	[-]

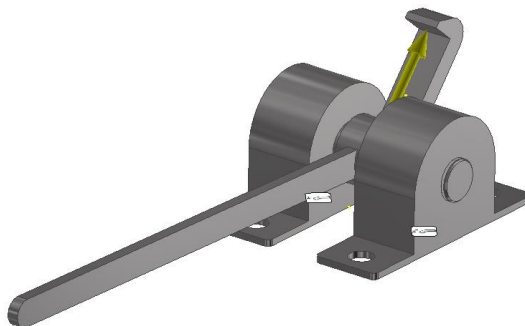
Pro nalisované spojení je dle výpočtů vhodná tolerance H3/m4, při návrhu přesahu s větším rozsahem tolerance součást nevyhovuje dané bezpečnosti. Přesto je v praxi tolerance H3/m4 pro přístroj určený pro běžné použití krajně nevhodná z důvodu velmi malého rozsahu tolerančních polí. Jako relevantnější volím toleranci H7/r6.

5.6 Kontrola pojistky v MKP

Pojistka má nepravidelný tvar a je namáhána velkou silou, je proto vhodné provést její analýzu v MKP. Analýzu provádím v programu Autodesk Inventor. Jako materiál pojistky jsem zvolil ocel 11 500. Při analýze je pojistka v sestavě společně s čepem a dvěma ložiskovými domky.

Vazby, dotyky a zatížení

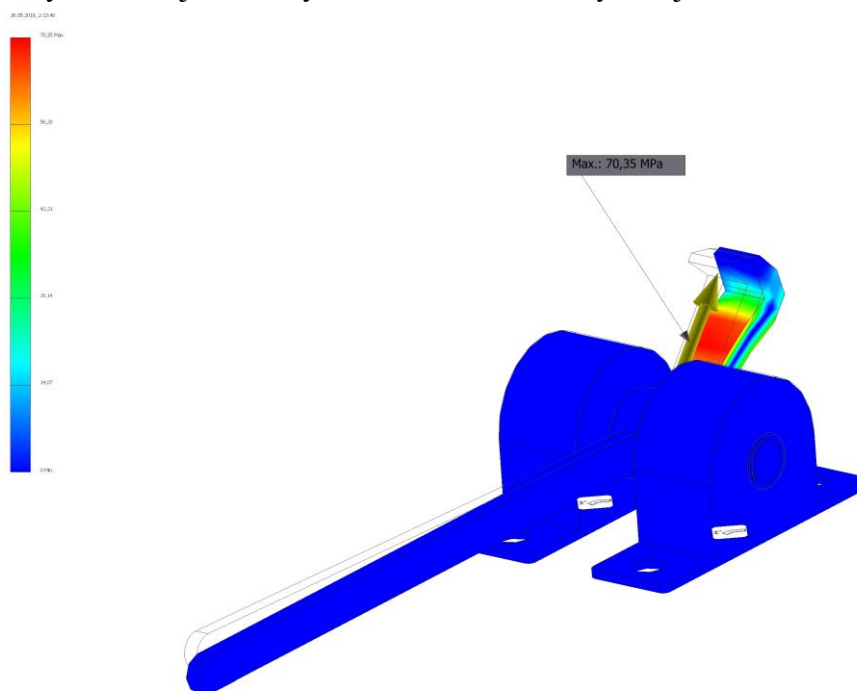
Pro relevantní výsledky je nezbytné správně nastavit vazby, dotyky a zatížení. Dvě pevné vazby umístuji do spodní části ložiskových domků. Ty jsou spojeny se základnou dimenzovaným šroubovým spojením, proto je lze považovat za pevné. Pojistka v ložiskových domcích rotuje, proto určuji všechny dotyky jako posouvání/bez oddělení. Pouze dotyk mezi čepem a pojistkou určuji jako vázaný, tyto součásti jsou do sebe zalisovány. Zatížení 771 N umístuji kolmo k namáhané plošině.



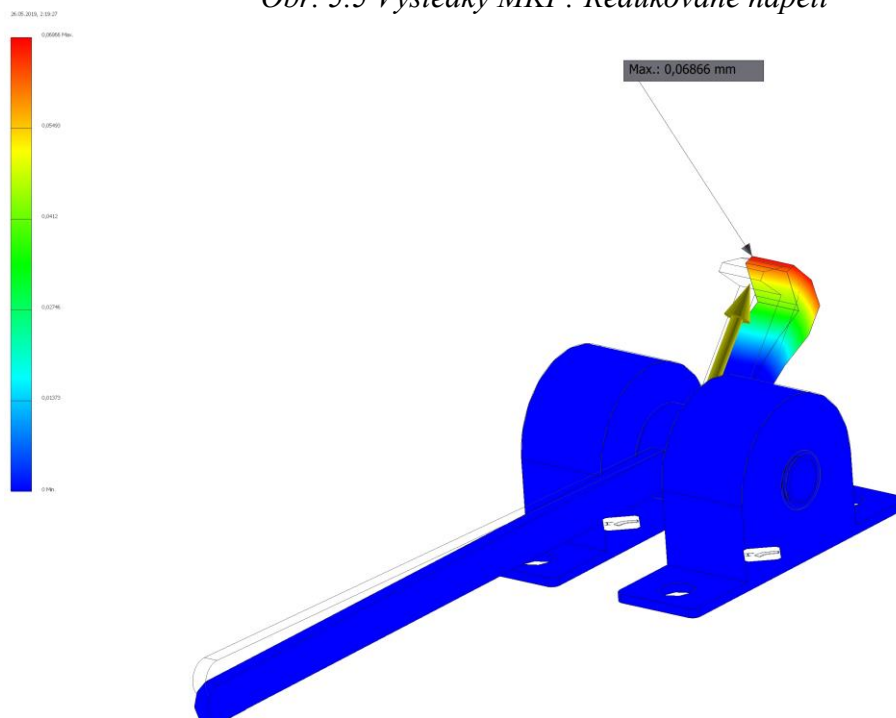
Obr. 5.4 Umístění vazeb a zatížení

Redukované napětí Von Mises

Maximální redukované napětí vzniká v rameni, které drží pojistné těleso. Hodnota 70,35 MPa je vzhledem k mezi kluzu materiálu $R_e = 260 \text{ MPa}$ vyhovující. Výsledná bezpečnost $k = R_e/\sigma_{\text{MAX}} = 3,7$. Maximální posunutí součásti nastává v nejtenčí části pojistky a dosahuje hodnoty 0,068 mm. Součást vyhovuje.



Obr. 5.5 Výsledky MKP: Redukované napětí



Obr. 5.6 Výsledky MKP: Posunutí

6 Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh zařízení pro vrh aportů, které navíc odměňuje psa za každé úspěšné navrácení balonku pamlskem.

V úvodu bakalářské práce jsem zhodnotil současný stav trhu, a snažil se z některých již existujících zařízení vybrat nejvhodnější vzor, pro mnou konstruovaný vrhač.

Největším problémem při konstrukci byla univerzální velikost míčků, toto kritérium zabránilo použití některého z jednodušších řešení jakým je například vrh míčku pomocí dvou proti sobě rotujících kotoučů, které se u existujících vrhačů běžně používá.

Zařízení jsem rozdělil do tří sekcí dle jejich funkce a každou jsem pak řešil samostatně. Odpálení míčku je realizováno ramenem s odpalovacím košem, akčním činitelem jsou dvě pružiny. Rameno natahuje lineární aktuátor. Při plném nátahu je rameno zajištěno klopnou pojistkou. K zajištění dochází samotným nátahem, k ramenu je připevněna konzola tvarována tak aby pojistku vychýlila z osy ve správném směru. Pojistka je rovněž vytvarována tak aby došlo k tomuto vychýlení. V natažené poloze je do odpalovacího koše dopraven míček. Dopravu míčku, a zároveň i dopravu pamlsků ven ze zařízení zajišťuje dopravní sekce. Míček i pamlsk je třeba vypravit ve správné chvíli, to zajišťují dva rotační karusely, oba umístěny v rotační skříni. Doprava do a z karuselu je po nakloněných plochách. Poslední fází je odjištění pojistky. To je realizováno díky třetí sekci, pojistka je zde vychýlena ze základní polohy čepem, který je součástí ozubeného kola převodovky.

Při konstrukci jsem se snažil zaměřit na aspekty uživatelského použití běžným spotřebitelem. Součásti, u kterých může dojít ke znečištění se dají z přístroje vyjmout, nebo je k nim, v rámci možností, umožněn přístup aby mohly být očištěny. Dvířka pro násyp granulí jsou zajištěné západkou. Součástí zařízení jsou zapuštěná madla a polohovatelné nohy. Důležitým kritériem, které je třeba zmínit, je bezpečnost. Zařízení vrhá míčky, které mohou mít až 500g, rychlostí okolo 40 km/h. I přes zvýšení bezpečnosti senzory v přední části zařízení, je nebezpečnou oblastí dopadová oblast míčku. Kolize s takto vrhnutým míčkem může být, pro člověka či psa, nebezpečná.

7 Seznam použité literatury

- [1] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů : návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-722-5018-3.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [3] MORAVEC, Vladimír a Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0878-1.
- [4] NĚMEČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0050-0.
- [5] *Přehled středoškolské fyziky: pomocná kniha pro žáky studijních oborů středních škol s délkou studia minimálně 4 roky*. Praha: SPN, 1991. Kostka (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-042-2435-0.
- [6] MACH, Ladislav. *Šťastný pes aneb Cvičíme hlavou 2*. Liberec, 2014
- [7] ARROWSMITH, Claire. *Hry pro psí hlavičky*. Praha: Plot, 2014. ISBN 978-80-7428-207-2.
- [8] *IFetch* [online]. LLC Associates program, 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://goifetch.com/>
- [9] *PetSafe* [online]. 10427 PetSafe Way, Knoxville, TN 37932: Radio Systems Corporation, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.petsafe.net/>
- [10] *Matis: industrial components* [online]. A-WebSys spol. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/>

- [11] 1500N 12V 4/6/8/10/12/14/16/18 inch Linear Actuator Adjustable Actuator Tor Opener Linear Actuator Motor - 150mm. *Banggood.com* [online]. Copyright [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.banggood.com/1500N-12V-4681012-inch-Linear-Actuator-Adjustable-Actuator-Tor-Opener-Linear-Actuator-Motor-p-1115476.html?rmmds=detail-left-hotproducts__1&ID=565498&cur_warehouse=CN
- [12] Katalog pružin tažných. *JPV Prodej* [online]. Družba 1273 Hulín [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://tempwebmiumusersrecovery.blob.core.windows.net/users/108121/assets/625fe05bd798ac0ac29e5e173645b4f0/tazne.pdf>
- [13] Silentblok dorazový DS. *HABERKORN* [online]. Generála Vlachého 305: oXy [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/silentblok-dorazovy-ds-silentblok-dorazovy-ds-1-4.html>
- [14] 17HS4401-D Stepper Motor for CNC Xyz Stepper Motor Can Be Customized. *Made-in-China.com* [online]. Focus Technology Co., 1998 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://hanpose.en.made-in-china.com/product/fyonOqwAfchg/China-17HS4401-D-Stepper-Motor-for-CNC-Xyz-Stepper-Motor-Can-Be-Customized.html>
- [15] Tlačítko TRU COMPONENTS TC-R13-527A-02RT, 250 V/AC, 6 A, červená. *Conrad* [online]. 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/tlacitko-tru-components-tc-r13-527a-02rt-250-v-ac-6-a-cervena-1-ks.k1587759>
- [16] Optický senzor Avago Technologies HSDL-9100-021, max. 60/200 mm. *Conrad* [online]. 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://velkoobchod.conrad.cz/opticky-senzor-avago-technologies-hsdl-9100-021-max-60-200-mm.k140271?gclid=CjwKCAjwqqrmBRAAEiwAdpDXtE7AUGmpeSOXvVxdNXmo0hLuBguH4wDFWcRVgy4j1J3HmFXyMHN8pBoCnaQQA vD_BwE#
- [17] *Elesa+GANTER* [online]. 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.elesa-ganter.cz/webapp/wcs/stores/servlet/cs/b2bstorecze>

8 Seznam příloh

- A. Výkresová dokumentace
- B. CD s přiloženým materiálem

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D za jeho ochotu, trpělivost a shovívavost.